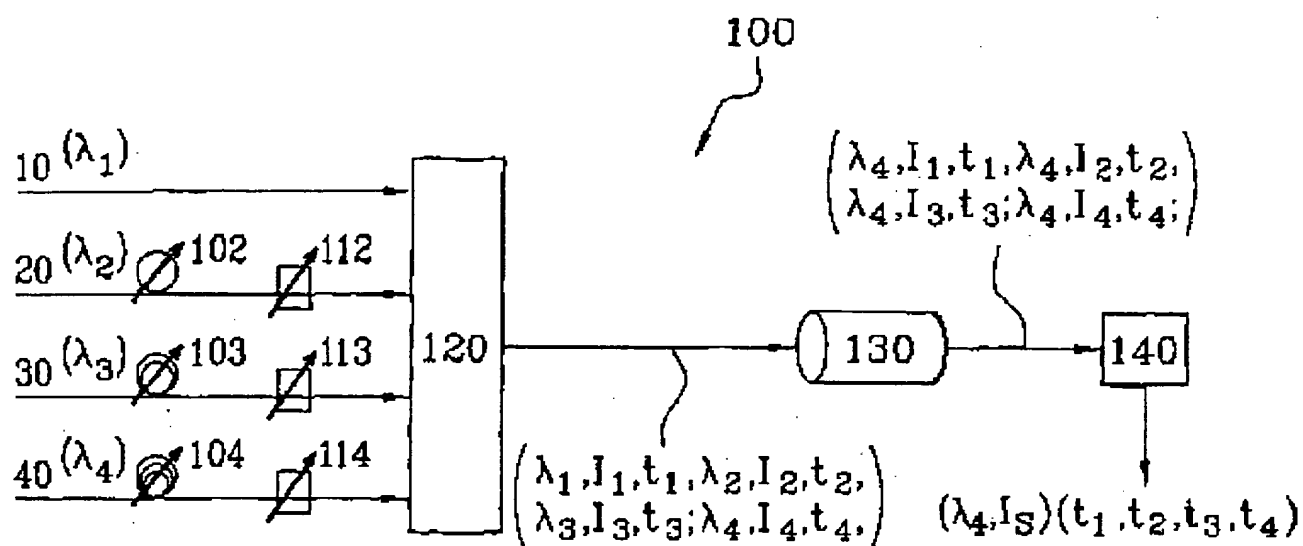


AN: PAT 2003-854284
TI: Optical telecommunication signal conversion enables exchange between WDM signals and OTDM signals and vice versa at high data flow rates
PN: WO2003090392-A1
PD: 30.10.2003
AB: NOVELTY - The signal conversion process translates wave division multiplex (WDM) signals into an orthogonal time division multiplex (OTDM), enabling their transmission over long distance telecommunication routes. Rapid conversions are achieved enabling high flow rates. DETAILED DESCRIPTION - The method for converting wave division multiplex (WDM) signals into an orthogonal time division multiplex (OTDM) signal includes an offset device (102, 103, 104) which can introduce a time delay between the pulses supported by the optical WDM signal carriers. It further includes a modulation device (112, 113, 114) which can modify the optical power of the WDM signal, an optical time multiplexer/demultiplexer (120), and a birefringent propagation medium (130) in which the WDM signals are injected for the purpose of soliton trapping. An absorption device (140) can introduce optical losses on the components of the OTDM signal.; USE - Signal conversion in long distance telecommunication networks. ADVANTAGE - Performs very high flow WDM/OTDM conversions, and reverse OTDM/WDM conversions. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The diagram shows the signal conversion process. offset devices 102, 103, 104 modulators 112, 113, 114 multiplexer/demultiplexer 120 propagation medium 130 absorption device 140
PA: (ETFR) FRANCE TELECOM; (ETFR) FRANCE TELECOM SA;
IN: PINCEMIN E;
FA: WO2003090392-A1 30.10.2003; US2005226623-A1 13.10.2005; **FR2838836-A1** 24.10.2003; AU2003233375-A1 03.11.2003; EP1497939-A1 19.01.2005;
CO: AE; AG; AL; AM; AT; AU; AZ; BA; BB; BE; BG; BR; BY; BZ; CA; CH; CN; CO; CR; CU; CY; CZ; DE; DK; DM; DZ; EA; EC; EE; EP; ES; FI; FR; GB; GD; GE; GH; GM; GR; HR; HU; ID; IE; IL; IN; IS; IT; JP; KE; KG; KP; KR; KZ; LC; LI; LK; LR; LS; LT; LU; LV; MA; MC; MD; MG; MK; MN; MW; MX; MZ; NL; NO; NZ; OA; OM; PH; PL; PT; RO; RU; SC; SD; SE; SG; SI; SK; SL; SZ; TJ; TM; TN; TR; TT; TZ; UA; UG; US; UZ; VC; VN; WO; YU; ZA; ZM; ZW;
DN: AE; AG; AL; AM; AT; AU; AZ; BA; BB; BG; BR; BY; BZ; CA; CH; CN; CO; CR; CU; CZ; DE; DK; DM; DZ; EC; EE; ES; FI; GB; GD; GE; GH; GM; HR; HU; ID; IL; IN; IS; JP; KE; KG; KP; KR; KZ; LC; LK; LR; LS; LT; LU; LV; MA; MD; MG; MK; MN; MW; MX; MZ; NO; NZ; OM; PH; PL; PT; RO; RU; SC; SD; SE; SG; SK; SL; TJ; TM; TN; TR; TT; TZ; UA; UG; US; UZ; VC; VN; YU; ZA; ZM; ZW;
DR: AT; BE; BG; CH; CY; CZ; DE; DK; EA; EE; ES; FI; FR; GB; GH; GM; GR; HU; IE; IT; KE; LS; LU; MC; MW; MZ; NL; OA; PT; RO; SD; SE; SI; SK; SL; SZ; TR; TZ; UG; ZM; ZW; AL; LI; LT; LV; MK;
IC: G02B-006/14; H04J-014/00; H04J-014/02; H04J-014/08;
MC: W02-C04B7; W02-K04; W02-K07E;
DC: W02;
FN: 2003854284.gif
PR: FR0004968 19.04.2002;
FP: 24.10.2003
UP: 19.10.2005



⑭

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑮ Date de dépôt : 19.04.02.

⑯ Priorité :

⑰ Date de mise à la disposition du public de la demande : 24.10.03 Bulletin 03/43.

⑱ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑲ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑴ Demandeur(s) : FRANCE TELECOM Société anonyme — FR.

⑵ Inventeur(s) : PINCEMIN ERWAN.

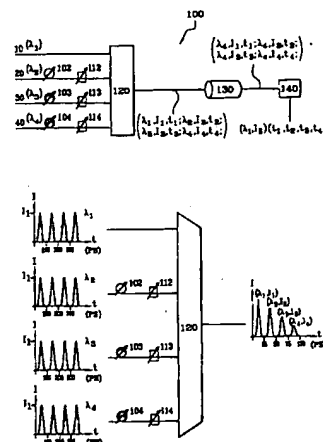
⑶ Titulaire(s) :

⑷ Mandataire(s) : FRANCE TELECOM.

⑸ DISPOSITIF OPTIQUE ET PROCÉDE POUR CONVERTIR DES SIGNAUX WDM EN UN SIGNAL OTDM, ET RECIPROQUEMENT.

⑹ L'invention se rapporte à un dispositif, et un procédé, pour convertir des signaux WDM en un signal OTDM. Le dispositif comprend des moyens (102, 103, 104) de décalage, aptes à introduire un écart temporel entre les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM, des moyens (112, 113, 114) de modulation, aptes à modifier la puissance optique des signaux WDM, un multiplexeur/démultiplexeur (120) temporel optique, un milieu (130) de propagation biréfringent dans lequel les signaux WDM sont injectés de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique, des moyens (140) d'absorption, aptes à introduire des pertes optiques sur les composantes du signal OTDM.

Ce dispositif permet de faire des conversions WDM/OTDM à très haut débit. Il permet aussi de faire des conversions inverses OTDM/WDM. Il est destiné à être implanté dans des réseaux de télécommunication longues distances.



La présente invention concerne un dispositif optique, et un procédé, pour convertir des signaux WDM, comportant des impulsions simultanées portées par des longueurs d'onde distinctes, en un signal OTDM, dont les composantes
5 sont portées par une seule longueur d'onde et décalées temporellement, et réciproquement.

L'invention se situe dans le domaine des télécommunications optiques et plus particulièrement des télécommunications sur des longues distances. Dans le
10 contexte actuel de la montée en débit des réseaux de transmission longues distances, l'augmentation du débit dans les canaux de transmission est inévitable car elle permet une réduction de l'encombrement des équipements d'extrémités et surtout une diminution de leur coût.
15 Ainsi, d'ici quelques années, les réseaux de transport des opérateurs de télécommunication devraient voir le déploiement des premiers équipements WDM ("Wavelength Division Multiplexing" en littérature anglo-saxonne) fonctionnant à 40 Gbit/s par longueur d'onde et, à plus
20 long terme, à 160 Gbits/s par longueur d'onde. Dans ces conditions, les besoins des réseaux de transport en fonctionnalités de multiplexage / démultiplexage temporel optique OTDM ("Optical Time Division Multiplexing" en littérature anglo-saxonne) vont également se développer.
25 Dans ce contexte, il est particulièrement intéressant de mettre en œuvre une fonction de conversion d'une part WDM/OTDM toute optique, afin de transférer vers une porteuse unique l'information contenue par plusieurs longueurs d'onde, et d'autre part OTDM/WDM toute optique,
30 afin de transférer vers plusieurs porteuses optiques l'information contenue dans un canal optique fonctionnant

à très haut débit, typiquement à 40 Gbit/s, 160Gbit/s, voire même 640 Gbit/s. Dans se dernier cas, le nombre de porteuses optiques sollicitées pour la conversion est égal au nombre de composantes OTDM présentes dans le signal
5 optique à convertir. Ces composantes OTDM peuvent avoir un débit de 40 ou 10 Gbit/s.

Actuellement, des solutions capables de réaliser de telles conversions WDM/OTDM et OTDM/WDM existent déjà. Ainsi, il existe des solutions toutes électroniques qui
10 impliquent l'utilisation de transpondeurs opto-électroniques équipés de photorécepteur ou de diodes lasers pour faire une conversion optique/électronique et réciproquement. Toute une chaîne de composants électroniques permet ensuite de faire du
15 multiplexage/démultiplexage temporel. Ces solutions sont cependant complexes à mettre en œuvre, car elles requièrent des doubles conversions optique/électronique et/ou électronique/optique et utilisent un nombre important de composants, ce qui rend difficile leur
20 implantation dans le réseau pour d'évidents problèmes d'encombrement. Elles sont par ailleurs limitées en largeur de bande électrique. L'inconvénient majeur de ces solutions réside dans le fait qu'elles sont limitées en débit puisque les systèmes électroniques utilisés sont
25 incapables de fonctionner à des débits supérieurs ou égaux à 40 Gbits/s.

D'autres solutions toutes optiques existent également. Ainsi, la conversion OTDM/WDM consiste à faire du démultiplexage temporel optique puis de la conversion
30 de longueur d'onde. Le démultiplexage temporel optique est réalisé par exemple en utilisant la modulation de phase croisée dans une fibre. Cette technologie est cependant très complexe à mettre en œuvre. Le démultiplexage temporel optique peut également être réalisé au moyen de
35 miroirs optiques non linéaires utilisant des

interféromètres de type Mach-Zehnder, Michelson ou Sagnac. Les miroirs optiques non linéaires présentent cependant l'inconvénient d'être instables, leur stabilité dépendant en effet de la température. La conversion en longueur d'onde, quant à elle, est réalisée au moyen d'amplificateurs optiques à semi-conducteur SOA, ("Semiconductor Optical Amplifier" en terminologie anglo-saxonne). Un laser, placé derrière le SOA permet de fournir la longueur d'onde dans laquelle le signal doit être converti. Cependant, cette solution implique l'utilisation d'autant de SOA et de lasers qu'il y a de conversions en longueur d'onde à effectuer, si bien que le prix de revient de cette solution reste très élevé et ne permet pas une implantation à grande échelle, dans des réseaux actuellement en plein essor. De plus, les SOA ne sont pas complètement transparents au débit et des distorsions peuvent apparaître et affecter le signal.

La conversion WDM/OTDM, quant à elle, consiste à convertir la longueur de chaque signal WDM en une longueur d'onde unique puis à faire du multiplexage temporel optique. La conversion de longueurs d'onde nécessite là encore l'utilisation d'autant de SOA et de lasers qu'il y a de signaux WDM, si bien que le prix de revient de cette solution est très élevé.

Enfin, même si les solutions qui viennent d'être présentées pour les deux types de conversion OTDM/WDM et WDM/OTDM présentent l'avantage d'être toutes optiques, ce qui simplifie la chaîne de traitement sur les signaux, elles ne peuvent fonctionner que pour de faibles débits, inférieurs à 40Gbits/s.

Du fait de leurs limitations, les solutions existantes ne peuvent donc pas être utilisées pour la conversion de signaux WDM/OTDM ou OTDM/WDM à très haut débit, c'est à dire à des débits supérieurs à 40 Gbit/s.

Aussi, le problème technique à résoudre par la présente invention est de proposer un dispositif optique pour convertir des signaux WDM, dont les impulsions sont simultanées et portées par des longueurs d'onde distinctes, en un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde et décalées temporellement, qui permettrait de fonctionner à des très hauts débits pour pouvoir être implanté dans des réseaux de transmission optique longues distances fonctionnant à des débits très élevés, typiquement supérieurs ou égaux à 40 Gbit/s.

La solution au problème technique posé est obtenue, selon la présente invention, du fait que ledit dispositif comprend :

- des moyens de décalage, aptes à introduire un écart temporel entre les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM,
- des moyens de modulation, aptes à modifier la puissance optique des signaux WDM,
- un multiplexeur/démultiplexeur spectral et temporel optique,
- un milieu de propagation biréfringent dans lequel les signaux WDM sont injectés de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique,
- des moyens d'absorption, aptes à introduire des pertes optiques sur les composantes du signal OTDM.

Ainsi, le dispositif selon l'invention utilise le phénomène bien connu de piégeage solitonique (ou "soliton trapping" en littérature anglo-saxonne) dans un milieu de propagation biréfringent, qui permet de créer un décalage de la fréquence optique de la porteuse, proportionnel à la puissance optique d'un signal. En ajustant préalablement la puissance optique des impulsions d'un signal, le piégeage solitonique permet de décaler la longueur d'onde de ces impulsions vers une longueur d'onde dite "cible" de

la porteuse optique devant finalement porter l'information.

La solution au problème technique posé est également obtenue, selon la présente invention, grâce à un procédé de conversion de signaux WDM, dont les impulsions sont
 5 simultanées et portées par des longueurs d'onde distinctes, en un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde et décalées temporellement, au moyen dudit dispositif. Ce procédé est
 10 remarquable en ce qu'il comporte les étapes consistant à :

- décaler temporellement les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM,
- atténuer les signaux WDM, afin qu'ils présentent des puissances optiques différentes,
- 15 - multiplexer spectralement et temporellement les signaux WDM,
- injecter le multiplex WDM obtenu dans le milieu de propagation biréfringent de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique et obtenir un signal OTDM,
- 20 - égaliser la puissance optique des composantes du signal OTDM obtenu.

Un autre problème technique à résoudre par la présente invention est de proposer un dispositif optique apte à faire la conversion inverse, c'est à dire apte à
 25 convertir un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde (λ_4) et décalées temporellement (t_1, t_2, t_3, t_4), en signaux WDM, dont les impulsions sont portées par des longueurs d'onde ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$) distinctes qui permettrait de fonctionner à des
 30 très haut débits pour pouvoir être implantés dans des réseaux de transmission optiques longues distances.

La solution à ce problème est obtenue, selon la présente invention, du fait que ledit dispositif comprend:
 - des moyens d'absorption, aptes à introduire
 35 des pertes optiques sur les composantes du signal OTDM,

- un milieu de propagation biréfringent dans lequel le signal OTDM est injecté de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique,

5 - un multiplexeur/démultiplexeur spectral et temporel optique,

- des moyens de modulation, aptes à modifier la puissance optique des signaux WDM.

La solution à ce problème technique est également obtenue, selon la présente invention, grâce à un procédé
10 de conversion d'un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde et décalées temporellement les unes par rapport aux autres, en signaux WDM, dont les impulsions sont et portées par des longueurs d'onde distinctes, au moyen dudit dispositif. Ce procédé
15 est remarquable en ce qu'il comporte les étapes consistant à :

- atténuer les composantes du signal OTDM de manière à ce qu'elles présentent des puissances optiques différentes,

20 - injecter le signal OTDM dans le milieu de propagation biréfringent, de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique et récupérer un multiplex WDM,

- démultiplexer spectralement et temporellement le
25 multiplex WDM de manière à obtenir plusieurs signaux WDM dont les impulsions, portées par des longueurs d'onde distinctes, sont décalées temporellement,

- égaliser la puissance optique des impulsions des signaux WDM obtenus.

30 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description faite à titre d'exemple illustratif et non limitatif, en regard des figures annexées qui représentent :

35 - la figure 1, un dispositif selon l'invention, utilisé comme convertisseur WDM/OTDM,

- la figure 2, les signaux WDM se propageant en entrée du dispositif de la figure 1 et en sortie du multiplexeur spectral et temporel,

5 - la figure 3, les signaux se propageant en entrée et en sortie du milieu de propagation biréfringent du dispositif de la figure 1,

10 - la figure 4, des moyens d'absorption utilisés dans le dispositif de la figure 1 et les signaux de propageant en entrée et en sortie de ces moyens d'absorption,

15 - la figure 5, d'autres moyens d'absorption utilisés, selon une variante de réalisation, dans le dispositif de la figure 1, et les signaux se propageant en entrée et en sortie de ces moyens d'absorption,

20 - la figure 6, un dispositif selon l'invention, utilisé comme convertisseur OTDM/WDM, et un schéma des signaux se propageant à chaque étape de la conversion.

25 Dans la suite de la description, il est question d'une conversion de quatre signaux WDM, portés par quatre canaux fonctionnant par exemple à 40 Gbit/s, dont les longueurs d'onde sont distinctes, en un signal OTDM, porté par un seul canal sur une seule porteuse optique, fonctionnant à 160Gbit/s, et réciproquement.

 L'invention peut bien sûr s'appliquer aux signaux ayant un débit quelconque. Préférentiellement, elle s'applique aux signaux ayant des débits binaires de 40, 160 voire même 640 Gbit/s.

30 Le dispositif de conversion WDM/OTDM et OTDM/WDM est mis en œuvre pour des signaux comprenant des données de type "RZ", selon la terminologie couramment utilisée pour dire "return to zero" ou "remise à zéro". Ces données du type RZ peuvent être du type solitonique ou non. On rappelle qu'un signal RZ est un signal numérique

35

comportant deux états 0 et 1, les bits à 1 correspondant à des impulsions et les bits à 0 correspondant à l'absence d'impulsion dans le temps bit.

Sur la figure 1, le dispositif référencé 100 est
 5 utilisé comme convertisseur WDM/OTDM. Il est destiné à convertir, dans cet exemple, les quatre signaux WDM, portés par quatre canaux 10, 20, 30, 40 fonctionnant par exemple à 40 Gbit/s et dont les longueurs d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 sont distinctes, en un signal OTDM, porté par un
 10 seul canal, sur une seule porteuse optique λ_4 , et fonctionnant à 160Gbit/s.

En sortie des quatre canaux WDM, sont disposés des moyens de décalage 102, 103, 104, et des moyens de modulation 112, 113, 114. Les moyens de décalage,
 15 constitués par exemple par des lignes à retard, permettent d'introduire un écart temporel entre les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM. Ce décalage de phase entre les impulsions est nécessaire pour pouvoir ensuite multiplexer temporellement les signaux.

Dans cet exemple, seuls 3 canaux 20, 30, 40 sont
 20 munis de ces lignes à retard puisqu'il suffit que chaque porteuse ait un décalage différent par rapport aux autres. Il n'est donc pas nécessaire d'introduire un retard sur le premier canal 10, mais bien sûr rien ne s'y oppose non
 25 plus.

Ces lignes à retard 102, 103, 104 peuvent être fixes et conçues pour décaler chaque porteuse optique d'une période de temps fixée pour chaque signal. Il est
 cependant préférable d'utiliser des lignes à retard
 30 variable, afin de pouvoir régler les décalages et les affiner.

Les moyens de modulation optique 112, 113, 114 permettent, quant à eux, de moduler la puissance optique des signaux WDM. Les moyens de modulation sont par exemple
 35 constitués par des atténuateurs variables. Ainsi, on

introduit par exemple des pertes optiques différentes sur chacun des signaux WDM pour les atténuer. On obtient alors des signaux WDM portés par des longueurs d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 distinctes avec des puissances I_1 , I_2 , I_3 , I_4 optiques différentes. Ces puissances optiques sont ajustées de manière à permettre l'effet ultérieur recherché de piégeage solitonique.

Dans cet exemple, seuls 3 canaux 20, 30, 40 sont munis de ces atténuateurs, mais pour les mêmes raisons qu'avec les lignes à retard, chaque canal peut être muni d'un atténuateur. De préférence on utilise des atténuateurs optiques variables pour pouvoir régler la puissance de chaque signal WDM.

Dans cet exemple, les lignes à retard 102, 103, 104 sont disposées devant les atténuateurs 112, 113, 114 optiques, mais l'ordre n'a en réalité aucune importance à ce stade. Il suffit en effet qu'en entrée du multiplexeur/démultiplexeur 120 optique les signaux WDM aient été décalés et modulés.

Le multiplexeur/démultiplexeur 120 spectral et temporel optique permet ensuite de multiplexer les signaux WDM pour n'avoir plus qu'un multiplex WDM comprenant des impulsions de longueurs d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 différentes, de puissances I_1 , I_2 , I_3 , I_4 différentes et décalées (t_1 , t_2 , t_3 , t_4) temporellement.

Le multiplex ainsi obtenu est ensuite injecté dans un milieu 130 de propagation biréfringent, tel qu'une fibre optique biréfringente par exemple, de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique et obtenir un signal multiplexé temporellement et porté par une seule longueur d'onde, λ_4 dans l'exemple, constituant un signal OTDM.

Des moyens d'absorption 140 permettent ensuite d'égaliser la puissance optique des différentes composantes constituant le signal OTDM final.

Les figures 2 à 5, plus détaillées, permettent de mieux comprendre le fonctionnement de ce dispositif, au cours de la conversion WDM/OTDM.

Sur la figure 2, sont représentés les chronogrammes de chaque signal WDM en entrée du dispositif, et le chronogramme du multiplex WDM en sortie du multiplexeur/démultiplexeur 120 spectral et temporel optique. En entrée du dispositif, chaque signal WDM comporte des impulsions qui sont portées par une longueur d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 distinctes. Ces impulsions des différents signaux WDM présentent toutes la même intensité I_1 et interviennent simultanément.

En sortie du multiplexeur 120, le multiplex présente des impulsions de longueurs d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 distinctes, d'intensités I_1 , I_2 , I_3 , I_4 différentes et décalées temporellement t_1 , t_2 , t_3 , t_4 .

Les impulsions du signal OTDM que l'on souhaite obtenir en sortie du dispositif doivent être entrelacées. L'écart entre deux impulsions doit donc être identique à chaque fois. Ainsi, à 160 Gbit/s par exemple, les impulsions sont décalées les unes par rapport aux autres d'un écart de 6,25ps. Le décalage entre les impulsions est donc préalablement réglé et ajusté au moyen des lignes à retard variables 102, 103, 104.

La puissance optique I_1 , I_2 , I_3 , I_4 de chaque impulsion du multiplex WDM est préalablement réglée, au moyen des atténuateurs variables 112, 113, 114 pour exacerber les effets non linéaires dans la fibre optique biréfringente 130 et favoriser ainsi l'effet de piégeage solitonique souhaité et tel qu'illustré sur la figure 3.

On rappelle qu'un milieu de propagation biréfringent comporte deux axes principaux de propagation. Pour favoriser le phénomène de piégeage solitonique, le multiplex est injecté selon une polarisation à 45° par rapport aux axes principaux de propagation du milieu

biréfringent 130. Dans ce cas, un contrôleur de polarisation peut par exemple être placé devant la fibre optique 130. Ce contrôleur permet de transformer n'importe quelle polarisation entrant en une autre polarisation et en particulier une polarisation linéaire à 45° des axes principaux de la fibre biréfringente.

On rappelle qu'un soliton est une impulsion lumineuse suffisamment intense pour exciter un effet non linéaire qui va compenser les effets de la dispersion chromatique lors de trajets sur de longues distances. Dans certaines conditions, notamment de puissance et de dispersion chromatique, bien connues de l'homme du métier, les impulsions 1 à 4 injectées conservent leur intégrité et ne se déforment pas temporellement. En revanche, leur spectre fréquentiel est déformé et il se produit un décalage fréquentiel par rapport à la fréquence initiale du spectre de chacune de ces impulsions à l'entrée du milieu de propagation. Ce phénomène, au cours duquel l'impulsion ne se déforme pas temporellement mais où le spectre se décale fréquemment, est connu sous le nom de piégeage solitonique. Le décalage fréquentiel $\Delta\nu_i$, est proportionnel à la puissance lumineuse I_i de l'impulsion i injectée dans le milieu de propagation.

Ainsi, en réglant précisément la puissance lumineuse I_i de chaque impulsion i du multiplex WDM, le décalage fréquentiel $\Delta\nu_i$ induit par le phénomène de piégeage solitonique sur l'impulsion i du multiplex WDM peut être ajusté pour permettre une correspondance spectrale parfaite des déplacements de spectre des canaux WDM. Cet ajustement précis est obtenu grâce aux lignes à retard variable et aux atténuateurs variables placés devant le multiplexeur 120. Dans l'exemple de la figure 3, les impulsions 1, 2, 3 d'intensité respective I_1 , I_2 , I_3 , subissent chacune un décalage $\Delta\nu_1$, $\Delta\nu_2$, $\Delta\nu_3$ pour que leurs

longueurs d'onde coïncident toutes avec la longueur d'onde λ_4 de la quatrième impulsion.

En sortie du milieu biréfringent, on obtient donc un signal OTDM dont les composantes sont portées par une
5 seule longueur d'onde λ_4 et sont décalées temporellement (t_1, t_2, t_3, t_4).

Cependant, les composantes du signal OTDM obtenu ne présentent pas la même puissance lumineuse I_1, I_2, I_3, I_4 . Des moyens d'absorption 140 sont donc prévus pour rétablir
10 un niveau de puissance optique identique entre toutes les composantes du signal OTDM.

Cette égalisation de puissance est par exemple basée sur l'utilisation d'un modulateur à électro-absorption MEA qui applique des pertes optiques sélectives sur les
15 composantes du canal OTDM, tel qu'illustré sur la figure 4. Le profil temporel des pertes P_{os} peut être en marches d'escalier 142, ou une rampe linéaire 143 comme illustré sur les courbes de la tension appliquée V et des pertes optiques en sortie P_{os} en fonction du temps t . La courbe
20 relative à la tension V appliquée est en traits pleins alors que la courbe relative aux pertes optiques en sortie P_{os} est en traits discontinus.

Ainsi, l'absorption du MEA étant fonction de la tension V appliquée et du temps, et les composantes du
25 signal injecté présentant chacune une intensité différente et étant elles-mêmes décalées les unes par rapport aux autres dans le temps, chacune d'entre-elles ne voit pas la même absorption en passant dans le MEA. A la sortie du MEA, les différentes composantes 1, 2, 3, 4 ont alors une
30 puissance optique identique I_s .

Une variante de réalisation, pour effectuer cette égalisation de puissance, consiste à utiliser un absorbant saturable tel qu'illustré sur la figure 5. La fonction de transfert d'un absorbant saturable présente deux états
35 distincts : un état de blocage lorsque la puissance

d'entrée I_e est inférieure à une puissance seuil I_t , et un état totalement transparent, lorsque la puissance d'entrée est supérieure à cette puissance seuil. A l'état transparent, le signal en sortie de l'absorbant saturable présente une puissance de sortie I_s constante. Si les différentes composantes du signal OTDM obtenu ont toutes une puissance I_1, I_2, I_3, I_4 supérieure à la puissance seuil I_t , elles présentent toutes, en sortie de l'absorbant, une puissance de sortie I_s identique. Si, par contre, les composantes du signal OTDM ont une puissance inférieure à la puissance seuil, alors elles sont totalement absorbées.

Le dispositif 100 peut être également utilisé pour réaliser la conversion inverse, c'est à dire la conversion d'un signal OTDM en signaux WDM. Cette conversion inverse utilise le même dispositif en sens inverse. Elle est donc décrite plus succinctement, en regard de la figure 6 qui représente le dispositif utilisé comme convertisseur OTDM/WDM et les signaux se propageant à chaque étape de la conversion.

Dans un premier temps, le signal OTDM traverse des moyens d'absorption 140 afin que des pertes optiques sélectives soient appliquées sur ses composantes. Ces moyens d'absorption sont par exemple constitués par le modulateur électro-absorbant MEA tel que décrit précédemment. Les composantes du signal OTDM ne voient pas la même absorption et subissent donc des pertes optiques différentes.

Le signal OTDM obtenu est ensuite injecté dans la fibre optique 130 biréfringente de manière à assurer l'effet de piégeage solitonique précédemment décrit. Dans ce cas, les composantes du spectre OTDM subissent un décalage fréquentiel $\Delta \nu_i$ proportionnel à leur puissance optique. On obtient donc un multiplex WDM dont les impulsions 1, 2, 3, 4 sont portées par des longueurs

d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 distinctes, présentent des puissances optiques I_1 , I_2 , I_3 , I_4 différentes et sont décalées temporellement les unes par rapport aux autres.

5 Tout comme pour la conversion WDM/OTDM, un contrôleur de polarisation peut par exemple être placé devant la fibre optique 130 pour faciliter l'injection du signal selon une polarisation à 45° des axes principaux de la fibre optique.

10 L'étape suivante consiste alors à faire passer le multiplex WDM dans le multiplexeur/démultiplexeur 120, afin de le démultiplexer spectralement et temporellement et obtenir quatre signaux portés par des longueurs d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 différentes.

15 La dernière étape consiste enfin à modifier la puissance optique des impulsions des signaux WDM, afin de les égaliser. Cette modification se fait grâce aux moyens de modulation 112, 113, 114, qui sont par exemple constitués par les atténuateurs variables tels que précédemment décrits.

20 Pour la conversion OTDM/WDM, il n'est pas indispensable d'utiliser les moyens de décalage 102 à 104 de la figure 1. Lorsque ces moyens sont utilisés, des lignes à retard par exemple, ils permettent de décaler temporellement les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM, de manière à les rendre
25 simultanées.

Le dispositif qui vient d'être décrit n'est qu'une illustration et n'est en aucun cas limité à cet exemple. Il trouve son application dans les télécommunications optiques longues distances à haut-débit.
30

Il présente l'avantage d'être tout optique, il est facile à réaliser et à implanter dans le réseau. Il n'utilise pas de source laser mais que des composants peu coûteux. Il est indépendant de la largeur de bande. Enfin,
35 ce dispositif présente un très gros intérêt pour les

génération de systèmes de transmission à haut-débit,
fonctionnant à des débits supérieurs ou égaux à 40 Gbit/s.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (100) optique pour convertir des signaux WDM, dont les impulsions sont simultanées et portées par des longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4) distinctes, en un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde (λ_4) et décalées temporellement (t_1 , t_2 , t_3 , t_4), caractérisé en ce qu'il comprend :
- des moyens (102, 103, 104) de décalage, aptes à introduire un écart temporel entre les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM,
 - des moyens (112, 113, 114) de modulation, aptes à modifier la puissance optique des signaux WDM,
 - un multiplexeur/démultiplexeur (120) spectral et temporel optique,
 - un milieu (130) de propagation biréfringent dans lequel les signaux WDM sont injectés de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique,
 - des moyens (140) d'absorption, aptes à introduire des pertes optiques sur les composantes du signal OTDM.
2. Dispositif optique pour convertir un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde (λ_4) et décalées temporellement (t_1 , t_2 , t_3 , t_4), en signaux WDM, dont les impulsions sont portées par des longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4) distinctes, caractérisé en ce qu'il comprend :

- des moyens (140) d'absorption, aptes à introduire des pertes optiques sur les composantes du signal OTDM,
 - un milieu (130) de propagation biréfringent dans lequel le signal OTDM est injecté de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique,
 - un multiplexeur/démultiplexeur (120) spectral et temporel optique,
 - des moyens (112, 113, 114) de modulation, aptes à modifier la puissance optique des signaux WDM.
3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (102, 103, 104) de décalage, aptes à introduire un écart temporel entre les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM.
4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens (102, 103, 104) de décalage sont constitués par des lignes à retard variable.
5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens (112, 113, 114) de modulation sont constitués par des atténuateurs variables.
6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un contrôleur de polarisation en entrée du milieu (130) de propagation biréfringent pour

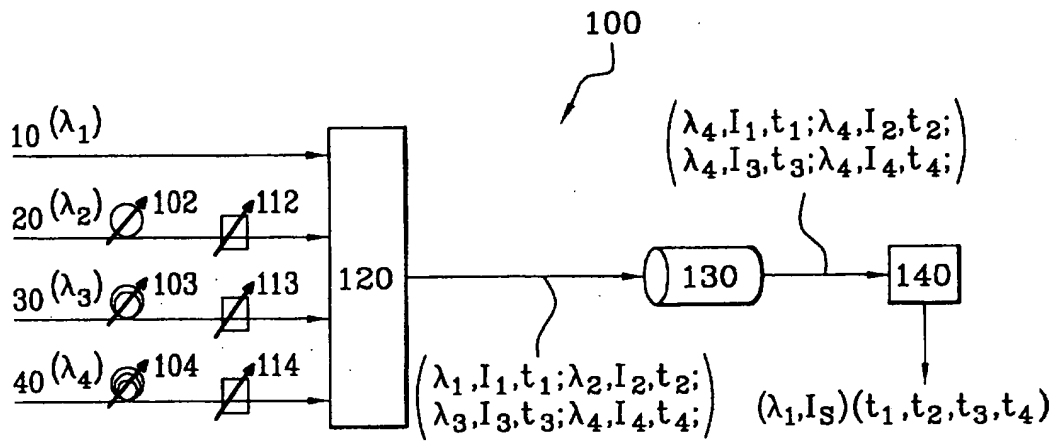
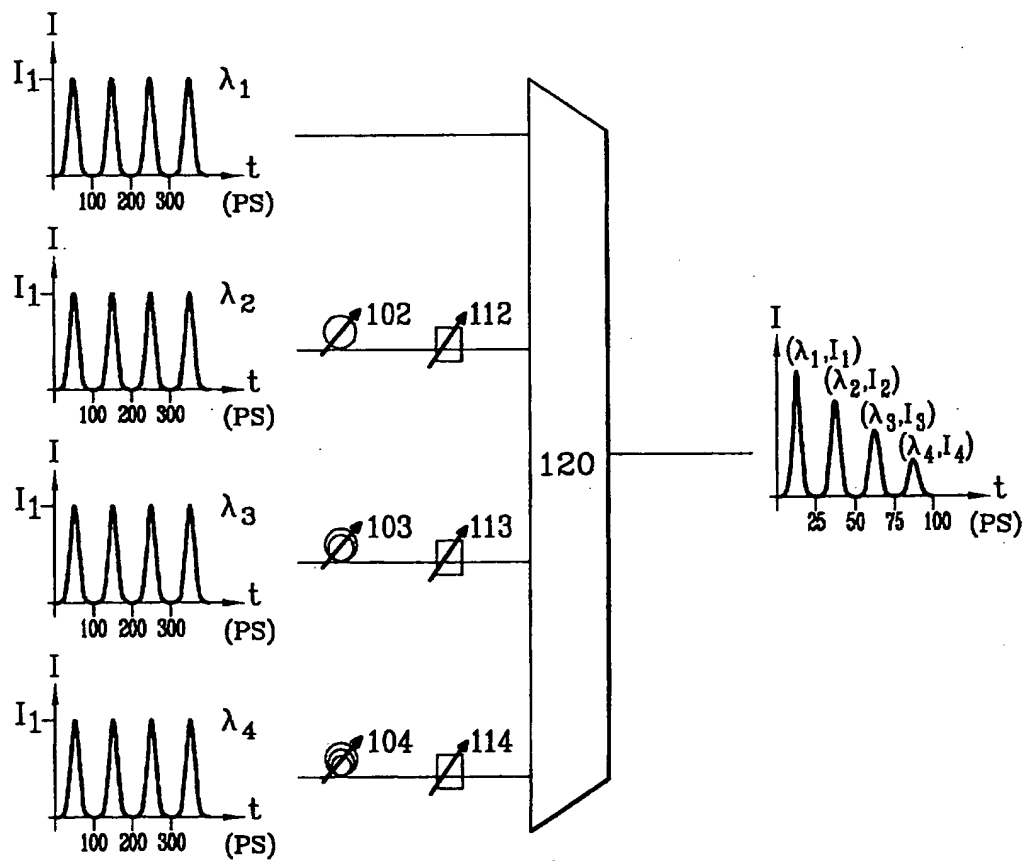
favoriser l'injection des signaux (WDM/OTDM) dans ledit milieu de propagation avec une polarisation à 45° de ses axes principaux.

- 5 7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens (140) d'absorption sont constitués par un modulateur électro-absorbant (MEA).
- 10 8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les moyens (140) d'absorption sont constitués par un absorbant saturable.
- 15 9. Procédé de conversion de signaux WDM, dont les impulsions sont simultanées et portées par des longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4) distinctes, en un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde (λ_4) et décalées temporellement, au moyen du dispositif selon l'une
 - 20 des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes consistant à :
 - décaler temporellement les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM,
 - 25 - atténuer les signaux WDM, afin qu'ils présentent des puissances optiques différentes,
 - multiplexer spectralement et temporellement les signaux WDM,
 - 30 - injecter le multiplex WDM obtenu dans le milieu de propagation biréfringent de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique et obtenir un signal OTDM,

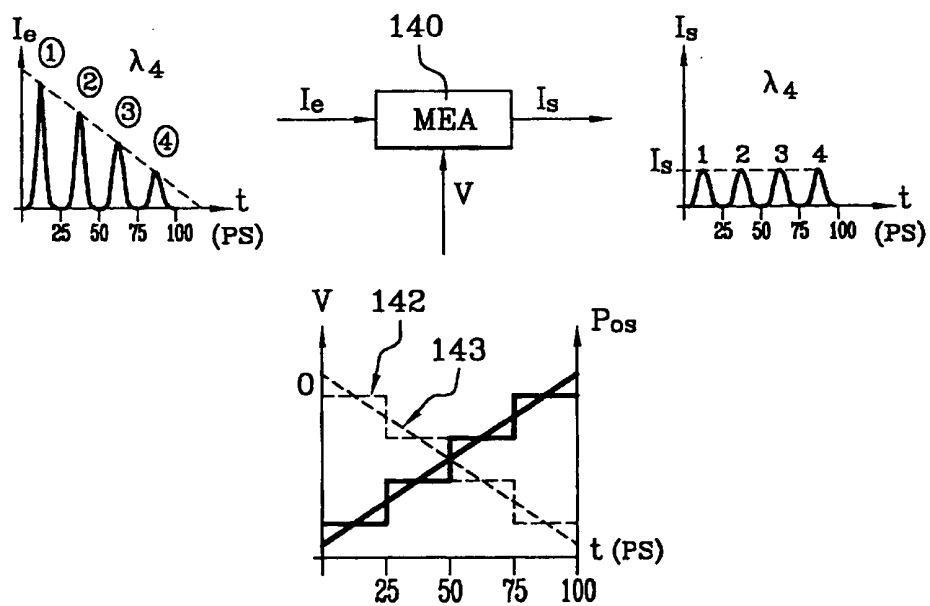
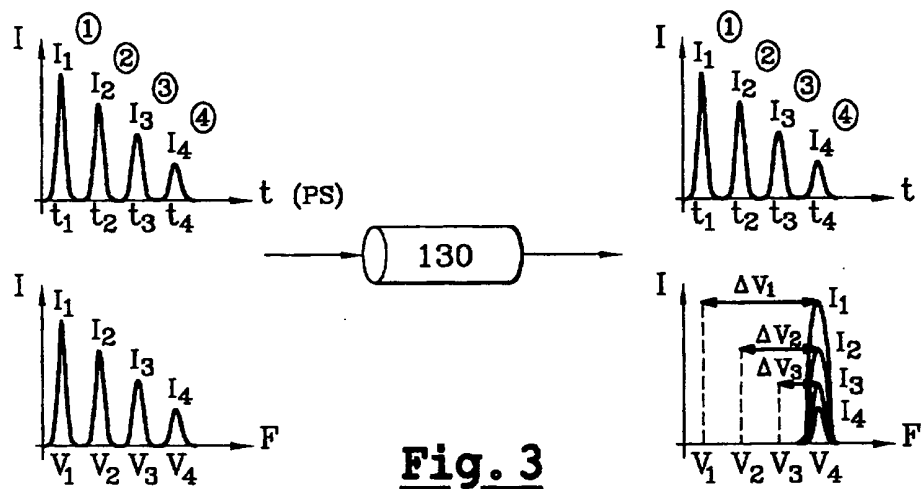
- égaliser la puissance optique des composantes du signal OTDM obtenu.

- 5 10. Procédé de conversion d'un signal OTDM, dont les composantes sont portées par une même longueur d'onde (λ_4) et décalées temporellement (t_1 , t_2 , t_3 , t_4), en signaux WDM, dont les impulsions sont portées par des longueurs d'onde (λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4) distinctes, au moyen du dispositif selon l'une des revendications 2 à 8, caractérisé en ce qu'il
- 10 comporte les étapes consistant à :
- atténuer les composantes du signal OTDM de manière à ce qu'elles présentent des puissances optiques différentes,
 - 15 - injecter le signal OTDM dans le milieu de propagation biréfringent, de manière à assurer un phénomène de piégeage solitonique et récupérer un multiplex WDM,
 - 20 - démultiplexer spectralement et temporellement le multiplex WDM de manière à obtenir plusieurs signaux WDM, dont les impulsions, portées par des longueurs d'ondes distinctes, sont décalées temporellement,
 - 25 - égaliser la puissance optique des impulsions des signaux WDM obtenus.
- 30 11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il consiste en outre à décaler temporellement les impulsions supportées par les porteuses optiques des signaux WDM obtenus, de manière à les rendre simultanées.

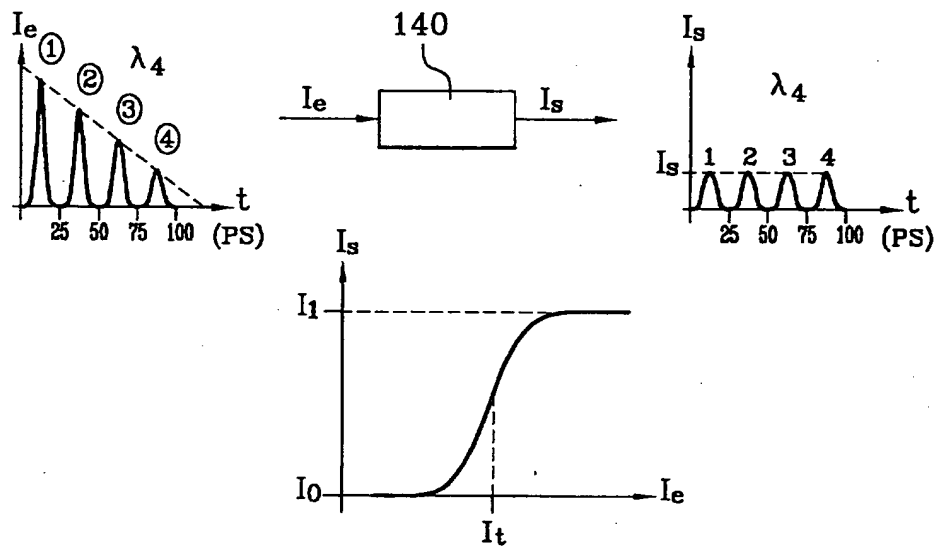
1/4

**Fig. 1****Fig. 2**

2/4



3/4

**Fig. 5**

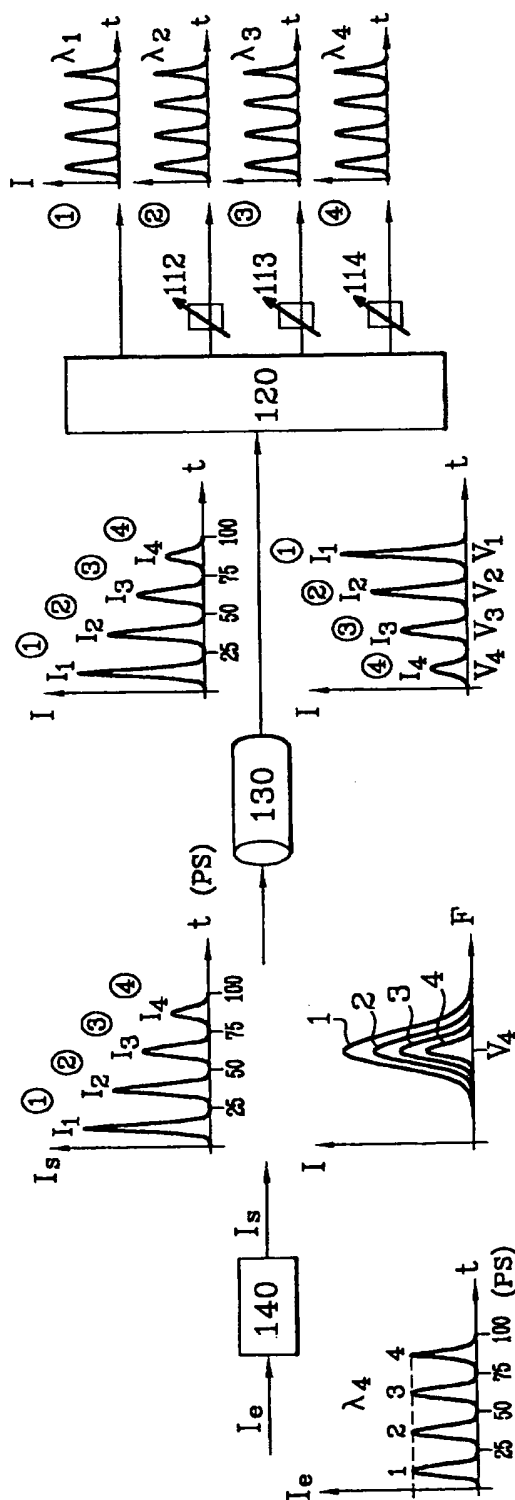


Fig. 6



2838836

N° d'enregistrement
national

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 617280
FR 0204968

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	HATAMI-HANZA H ET AL: "DEMONSTRATION OF ALL-OPTICAL DEMULTIPLEXING OF A MULTILEVEL SOLITONSIGNAL EMPLOYING SOLITON DECOMPOSITION AND SELF-FREQUENCY SHIFT" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 9, no. 6, 1 juin 1997 (1997-06-01), pages 833-835, XP000198536 ISSN: 1041-1135 * page 833, colonne de gauche, alinéa 1 - colonne de droite, alinéa 1; figure 1 *	1-11	G02B6/14 H04J14/00
A	US 6 307 658 B1 (DE BOUARD DOMINIQUE ET AL) 23 octobre 2001 (2001-10-23) * colonne 1, ligne 45 - colonne 2, ligne 27 * * colonne 3, ligne 26 - colonne 4, ligne 43; figure 2 * * colonne 6, ligne 27 - colonne 8, ligne 48; figures 6-11 *	1-11	
A	EP 1 137 213 A (DDI CORP ;KDD SUBMARINE CABLE SYSTEMS IN (JP)) 26 septembre 2001 (2001-09-26) * colonne 1, alinéa 1 - alinéa 2 * * colonne 6, alinéa 30 - colonne 11, alinéa 51; figures 1,3,4 *	1-11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7) H04J H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 janvier 2003		Roldán Andrade, J	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

2838836

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0204968 FA 617280**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 24-01-2003
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6307658 B1	23-10-2001	FR 2762732 A1	30-10-1998
		CA 2233270 A1	28-10-1998
		EP 0876020 A1	04-11-1998
		JP 10336135 A	18-12-1998
EP 1137213 A	26-09-2001	JP 2001274772 A	05-10-2001
		EP 1137213 A2	26-09-2001
		US 2002126346 A1	12-09-2002

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82